

УДК [581.526.325+581.526.323] (282.247.322)

Т.М. СЕРЕДА, к. б. н., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
seredatm@ukr.net

О.В. МАНТУРОВА, к. б. н., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
omanturova@ukr.net

О.Є. УСОВ, к. б. н., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
alex_lake2007@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ФІТОПЛАНКТОНУ І МІКРОФІТОБЕНТОСУ В РУСЛОВИХ ЕКОТОНАХ РІЧКИ ГОРИНИ¹

Дослідження фітопланктону і мікрофітобентосу р. Горині показали, що дискретно-континуальний характер формування угруповань відображає наявність екотонів у руслово-заплавному комплексі водотоку. В ектонах, вище та нижче них відбувається перебудова видового складу, домінуючих комплексів угруповань і зміна кількісних показників, що зумовлено специфікою та гідрологічними умовами стоку у річковій системі. З метою оцінки стану угруповань та розкриття специфіки формування угруповань р. Горині проведено апробацію методу функціональної класифікації водоростей, що дало змогу встановити та продемонструвати механізми перебудови альгоугруповань за функціональними групами в ектонах: плесо, пережат, контактна зона русло — меліорована заплава.

Ключові слова: *фітопланктон, мікрофітобентос, р. Горинь, метод функціональної класифікації водоростей, оцінка стану угруповань, ектони.*

Структура угруповань у лотичних екосистемах визначається гідродинамічними і морфологічними характеристиками водотоку, де течія є визначальним чинником формування біотичного і біотопічного різноманіття [5, 12]. Специфіка водотоку впливає на розвиток екологічних груп водоростей — планктону, бентосу і епіфітону, які детермінуються пото-

¹ Роботу виконано за рахунок бюджетної програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень (КПКВК 6541230)».

Ц и т у в а н н я: Середа Т.М., Мантурова О.В., Усов О.Є. Особливості формування фітопланктону і мікрофітобентосу в руслових ектонах річки Горині. *Гідробіол. журн.* 2023. Т. 59. № 5. С. 28—45.

ком: у планктоні вегетують бентосні та епіфітні форми, підняті потоком, і навпаки, планктонні форми осідають на дно [2—4]. При вивченні фітопланктону і мікрофітобентосу ми керувалися концепцією континуальності водотоку [11, 13], згідно з якою за градієнтом умов середовища за профілем річки формується структура угруповань, що відображає характер стоку на вище розташованій ділянці і ситуацію на водозборі.

У річкових системах завдяки градієнтним переходам біотичних та абіотичних чинників утворюються екотонні зони [9, 10], де відбуваються структурні перебудови угруповань з дискретним характером формування у межах річкового континууму. Встановлення градієнтно-просторових меж екотону є специфічним для кожного екологічного угруповання. Тому метою досліджень було вивчення механізмів перебудови структури альгоугруповань планктону і бентосу в екотонних зонах русла рівнинної р. Горині.

Матеріал і методика досліджень

Фітопланктон і мікрофітобентос р. Горині досліджували у серпні 2022 р. на десяти створах, які охоплюють ділянку русла довжиною 180 км (табл. 1).

Відбір, консервування та обробку альгологічних проб проводили за загальноприйнятими в гідробіології та альгології методиками [1]. Камеральну обробку водоростей та їх кількісний облік здійснювали методом прямого підрахунку в камері Нажотта (об'ємом 0,02 дм³) з використанням мікроскопа Laboval-4. Біомасу водоростевих клітин визначали розрахунково-об'ємним методом геометричної подібності. В роботі використана класифікаційна система [7]. Домінуючими видами водоростей вва-

Таблиця 1

Створи досліджень р. Горинь

Створи №	Район населеного	Координати	
	пункту	N	E
1	с. Рясники	50.642933	26.524532
2	с. Ремель	50.733076	26.382092
3	с. Ходоси	50.710027	26.247390
4	с. Караєвичі	50.728512	26.175243
5	с. Рубче	50.745271	26.164378
6	с. Суськ	50.776942	26.123760
7	с. Деражне	50.856039	26.046710
8	с. Базальтове	50.930079	26.231259
9	с. Степань	51.131466	26.313430
10	с. Кричильськ	51.250198	26.365626

жали ті, чисельність чи біомаса яких перевищувала 10 %, субдомінантами — 5—10 %.

З метою оцінки стану угруповань та розкриття механізмів формування угруповань за профілем річки проведено апробацію методу функціональної класифікації водоростей. Функціональні групи (кодони) і фактор F , необхідні для розрахунку індексу угруповань (Q) визначали за таблицями і формулами [6]. Таблиця включає 33 групи кодонів, згрупованих за функціональною, біотопічною, морфологічною та екологічною характеристиками водоростей, ідентифікованих за видовою чи родовою приналежністю. Для оцінки стану угруповань (Q) використовували шкалу індекса: 0—1 — поганий, 1—2 — низький, 2—3 — помірний, 3—4 — добрий, 4—5 — високий.

Для встановлення подібності альгоугруповань різних ділянок русла проведено кластерний аналіз за індексом Брея — Кертиса [8] методом незваженого попарного арифметичного середнього за біомасою функціональних груп водоростей в угрупованнях фітопланктону та мікрофітобентосу.

Район досліджень — ділянка русла р. Горині, яка характеризується високим ступенем меандрування та наявністю бічних рукавів, що створює різноманіття біотопів і динамічну зміну умов формування стоку за профілем. На створі 1 русло являє собою типову річкову ділянку шириною 15—20 м, середня глибина — близько 1,5 м, швидкість течії у межах 0,3—0,4 м/с, тип донного субстрату — пісок, місцями замулений, прибережна смуга із заростями очерету і осоки, іноді з куртинами стрілолисту і ряски, проективне покриття близько 10 %. На створах 2 і 3 русло розширюється до 25 м, характерні глибини близько 2 м, швидкість течії знижується до 0,2 м/с, переважаючі типи субстрату — пісок і замулений пісок, прибережно-заплавна рослинність представлена очеретом, куширом, ряскою, глечиками жовтими, проективне покриття 10—15 %. Русло на створах 4 і 5 являє собою проточну ділянку шириною 20—25 м з глибинами більше 2 м, швидкість течії 0,4—0,5 м/с. На створі 6 формується перекат: русло звужується місцями до 15 м, переважаючі глибини 0,4—0,7 м, швидкість течії збільшується до 1,0 м/с. На створі 7 русло розширюється до 25—30 м, глибини більше 2 м, швидкість течії 0,4—0,5 м/с. Річкове дно у межах створів 4—7 піщане та піщано-глинисте, місцями замулене, прибережна смуга сформована стрілолистом, осоками, глечиками, валіснерією та ряскою, проективне покриття 15—25 %, у районі перекату зарості макрофітів у супроводі щільних скупчень нитчастих водоростей роду *Spirogyra* sp. займають до 70 % площі водного дзеркала. Характерною особливістю руслової ділянки на створах 8 і 9 протяжністю 40 км є те, що ліво- та правобережна заплава меандруючого русла прошнуровані меліоративними каналами, подекуди сполученими з руслом. Ця ділянка має ширину 25—30 м, глибини близько 2 м, середня швидкість течії 0,4 м/с. Русло на створі 10 — типова річкова ділянка шириною близько 35 м, з глибинами більше 2 м і швидкістю течії 0,4—0,5 м/с. На створах 8—10 переважаючий тип донного субстрату — пісок та замулений пісок, прибережна рос-

линність сформована куширом, рдесниками, їжачою голівкою, ряскою та глечиками жовтими, площа заростання 20—25 %.

Паралельно з відбором альгологічних проб реєстрували основні гідрохімічні та гідрофізичні показники водного середовища: прозорість — 0,6—0,8 м, температура води — 21,4—23,4 °С, рН — 7,64—8,10, вміст кисню і насичення — 4,7—6,9 мг/дм³ і 53,4—98,8 %.

Результати досліджень та їх обговорення

Всього в альгофлорі дослідженої ділянки р. Горині було зареєстровано 149 видів водоростей, представлених 157 внутрішньовидовими таксонами (ввт) із восьми відділів (табл. 2).

У загальному списку альгофлори переважали діатомові, частка яких складала 48 %, частка зелених, ціанобактерій і еугленових — відповідно 31, 9 і 7 %, інші відділи представлені одним — чотирма видами. Видова структура екологічних груп дещо відрізнялася: фітопланктон був представлений 92 видами (100 ввт) з переважанням частки зелених водоростей (43 %), діатомових (39 %) і ціанобактерій (10 %), мікрофітобентос налічував 105 (112 ввт) з домінуванням діатомових (58 %) і зелених (22 %).

Динаміка представленості видів у фітопланктоні і мікрофітобентосі, а також сумарної кількості видів обох екологічних груп у межах дослідженої ділянки мала риси подібності (рис. 1): на створі 4 відмічене незначне зростання, зниження відбувалось починаючи зі створу 5 до мінімуму на створі 7 з наступним різким зростанням на створі 8, у той же час на створах 9 і 10 кількість видів у планктоні знизилась, а у бентосі і загальної кількості практично не змінилась.

Динаміка формування чисельності і біомаси фітопланктону була схожою і мала декілька піків (рис. 2, 3), чисельність коливалася в межах 4560—10180 тис. кл/дм³, біомаса — 0,59—4,04 мг/дм³. Максимальні кільк-

Таблиця 2

Таксономічна структура фітопланктону і мікрофітобентосу р. Горині

Відділи водоростей	Кількість видів (внутрішньовидових таксонів — ввт)		
	Загалом	Фітопланктон	Мікрофітобентос
Cyanobacteria	14	10	7
Miozoa	3	2	2
Cryptophyta	1	—	1
Euglenozoa	11	3	9
Ochrophyta	1	1	—
Chlorophyta	46 (48)	42 (43)	24 (25)
Charophyta	4	2	3
Bacillariophyta	69 (75)	36 (39)	59 (65)
Загалом	149 (157)	92 (100)	105 (112)

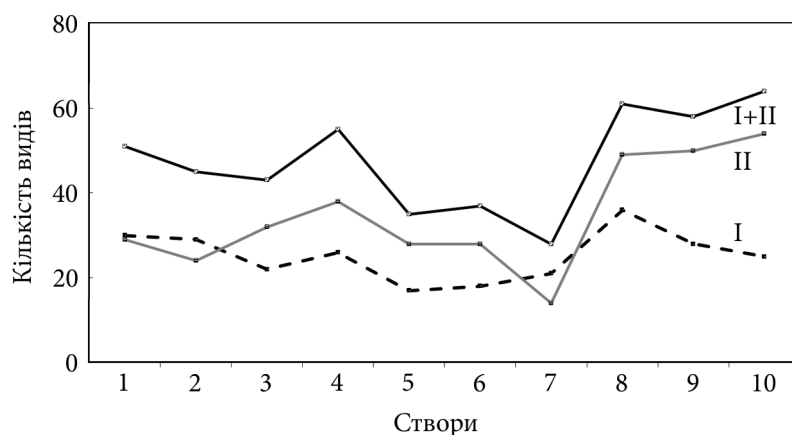


Рис. 1. Просторова динаміка видового багатства фітопланктону (I), мікрофітобентосу (II) і сумарно обох екологічних груп (I+II) на ділянці р. Горині

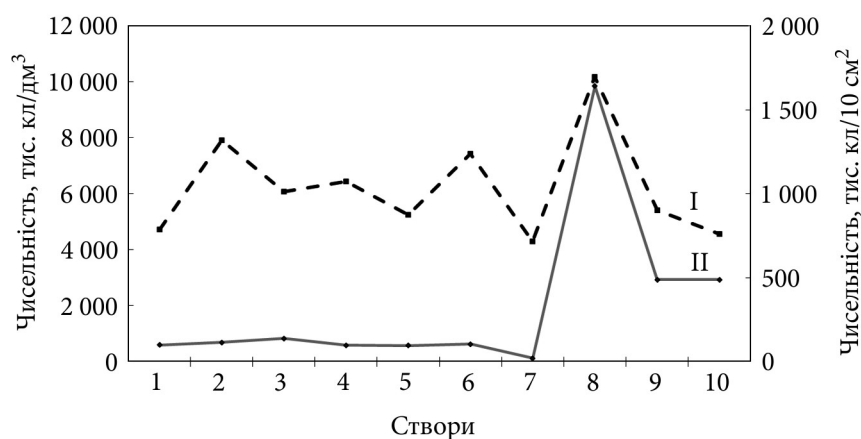


Рис. 2. Просторова динаміка чисельності фітопланктону (I) і мікрофітобентосу (II) дослідженої ділянки р. Горині

кісні показники планктонних угруповань відмічені на створі 8 — на русловій ділянці, що підтримує водообмін з системою меліоративних каналів, інші піки чисельності були приурочені до створів 2 і 6, піки біомаси — до створів 1 і 5.

Кількісні показники мікрофітобентосу на ділянці до створу 7 були низькими (див. рис. 2, 3). Чисельність коливалася у широких межах (19,5—1640,5 тис. кл./10 см²) і мала однопікову криву з максимальними значеннями на створі 8, біомаса також мала широку амплітуду коливань (0,04—1,39 мг/10 см²) з максимальними значеннями на створі 10.

Аналіз структури фітопланктону за профілем річки виявив ознаки дискретності у формуванні видового складу, чисельності і біомаси угру-

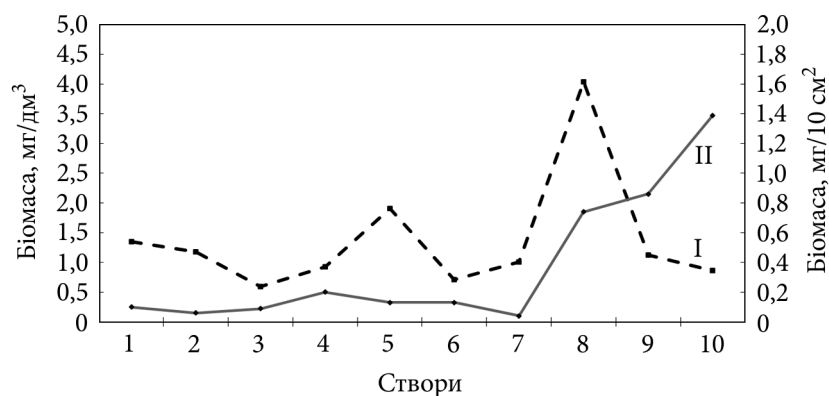


Рис. 3. Просторова динаміка біомаси фітопланктону (I) і мікрофітобентосу (II) на дослідженій ділянці р. Горині

повань. Частка домінування систематичних груп водоростей та домінуючих комплексів за течією річки змінювалася, відображаючи біотопічну мінливість. Так, флористичний спектр фітопланктону формували переважно зелені водорості (44—65 %) з максимальними значеннями на плесовій ділянці русла, мінімальні — нижче перекату. Частка ціанобактерій і діатомових коливалася в широких межах, відповідно 3—27 і 5—53 %, максимум ціанобактерій був приурочений до застійних зон плесової ділянки, мінімум — до ділянок з вираженою течією і навпаки, діатомові переважали на проточних ділянках русла (30—53 %), і майже не розвивалися на ділянках зі сповільненою течією (5—7 %).

Основу чисельності угруповань планктону на всіх створах формували ціанобактерії і зелені водорості, відповідно 13,6—74,0 і 20,5—78,0 %. Мінімальний розвиток ціанобактерій зареєстровано на проточних ділянках русла, максимальний — на перекаті, що відбувається завдяки змиву дрібноклітинних форм водоростей з макрофітів в умовах посиленої течії. На ділянках русла, що підтримують водообмін з каналами, за чисельністю домінували ціанобактерії *Microcystis pulverea* (H. C. Wood) Forti на рівні 30—56 % загальних показників. Мінімальна чисельність зелених водоростей відмічена на перекаті, максимальна — на плесі та русловій ділянці вище нього, переважали представники родів *Pediastrum*, *Coelastrum*, *Dictyosphaerium*, *Westella* (табл. 3).

Основу біомаси фітопланктону формували переважно діатомові і зелені водорості, їх частка коливалася в широких межах, відповідно 3,8—79,8 і 19,2—60,3 %. Частка діатомових була найвищою на перекаті і на створах, що підтримують водообмін з меліоративними каналами, з яких до русла надходять діатомеї з шарів епілімніону та алогенні епіфітні форми (див. табл. 3), а найменша — на плесовій ділянці русла зі сповільненою течією. І навпаки, найвищу частку біомаси зелені водорості формували на плесовій ділянці русла із заводами, у супроводі динофітових (14,2—

21,5 %), ціанобактерій (11 %) і евгленових водоростей (10,3 %), найнижчу — у контактних зонах русло — меліорована заплава.

Бентосні альгоугруповання продемонстрували більш стабільний характер розвитку порівняно з планктонними. У флористичному спектрі мікрофітобентосу переважали діатомові, їхня частка коливалась у межах 37,5—78,5 %, мінімальні показники приурочені до плесової ділянки зі сповільненою течією. Частка зелених водоростей у бентосних угрупованнях була у межах 12,5—50 % з максимумом на плесі і мінімумом на ділянках русла, що контактують з меліоративними каналами.

Мікрофітобентос на створах 1—7 характеризувався низькою чисельністю (див. рис. 2) і був переважно зелено-діатомовим. Частка зелених водоростей змінювалась від 25,6 (нижче перекату) до 70 % (на плесі), діатомових — від 13 (на плесі) до 74,4 % (нижче перекату). При цьому частка

Таблиця 3

Домінуючі комплекси фітопланктону р. Горині

Створи	За чисельністю ($\geq 10\%$)	За біомасою ($\geq 10\%$)
1	<i>Pediastrum angulosum</i> Ehr. ex Menegh, <i>Coelastrum microporum</i> Näg., <i>Coelosphaerium kuetzingianum</i> Näg.	<i>Cymatopleura solea</i> (Bréb.) W. Smith
2	<i>Coelastrum microporum</i> , <i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C. Wood, <i>Microcystis pulverea</i>	<i>Peridinium</i> sp., <i>Scenedesmus verrucosus</i> P. González
3	<i>Rhabdoderma lineare</i> Schmidle & Luterborn, <i>Microcystis pulverea</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i> (Kütz.) Kütz., <i>Westella botryoides</i> (West) De Wilde-man	<i>Westella botryoides</i> , <i>Scenedesmus opoliensis</i> P. G. Richter, <i>Peridinium aciculiferum</i> Lemm.
4	<i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehr., <i>Peridinium aciculiferum</i> Lemm.
5	<i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Pediastrum duplex</i> Meyen, <i>Scenedesmus magnus</i> Meyen	<i>Surirella ovata</i> Kütz., <i>Scenedesmus magnus</i>
6	<i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Oscillatoria planctonica</i> Woloszyńska	<i>Cocconeis placentula</i> Ehr., <i>Nitzschia angustata</i> (W. Smith) Grunow, <i>Nitzschia palea</i> (Kütz.) W. Smith, <i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.
7	<i>Crucigenia apiculata</i> (Lemm.) Schmidle, <i>Microcystis pulverea</i>	<i>Cocconeis placentula</i> , <i>Navicula viridula</i> (Kütz.) Ehr.
8	<i>Microcystis pulverea</i>	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr.) Simonsen, <i>Synedra ulna</i>
9	<i>Microcystis pulverea</i>	<i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Cocconeis placentula</i>
10	<i>Microcystis pulverea</i>	<i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Navicula viridula</i>

ціанобактерій у чисельності на плесовій ділянці коливалася в межах 16,2—21,7 %, на перекаті становила 11,9 %, вище нього — 29,6 %. На русловій ділянці, що контактує з системою меліоративних каналів (створи 8 і 9), основу чисельності бентосних угруповань формували ціанобактерії (72—81 %), частки діатомових і зелених водоростей знижувалася відповідно до 13,8—22,5 і 4,3—4,7 %. На створі 10 структура мікрофітобентосу відновлювалась, частка ціанобактерій знижувалася до 8 %, при цьому частка харових водоростей, представлених *Spirogyra* sp., які масово розвивалися на піщаних субстратах, становила 56,4 %, діатомових і зелених відповідно 25,4 і 9 %.

Основу біомаси мікрофітобентосу формували діатомові водорості, частка яких коливалася у межах 65,1—95,6 %, за винятком створу 10, де вона знижувалась до 21,8 % за рахунок домінування *Spirogyra* sp. на рівні 76 %. Друге місце у формуванні біомаси мікрофітобентосу належало зеленим водоростям, частка яких була невисокою (4—29,5 %), досягаючи максимуму на плесі, де також була помітною роль динофітових водоростей (16,6 %). У таблиці 4 наведено домінуючі комплекси мікрофітобентосу за чисельністю і біомасою.

Таблиця 4

Домінуючі комплекси мікрофітобентосу р. Горині

Створи	За чисельністю (≥ 10 %)	За біомасою (≥ 10 %)
1	<i>Desmodesmus communis</i> (E. Hegewald) E. Hegewald	<i>Cocconeis placentula</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Diatoma vulgare</i> Bory
2	<i>Desmodesmus communis</i> , <i>Desmodesmus opoliensis</i> , <i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rabenhorst, <i>Aulacoseira granulata</i>
3	<i>Anabaena</i> sp.	<i>Navicula viridula</i> , <i>Diatoma vulgare</i> , <i>Peridinium aciculiferum</i>
4	<i>Desmodesmus magnus</i> , <i>Desmodesmus bicaudatus</i> (Dedusenko) P.M. Tsarenko	<i>Synedra ulna</i> , <i>Aulacoseira granulata</i>
5	<i>Oscillatoria planctonica</i> , <i>Desmodesmus magnus</i>	<i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Peridinium aciculiferum</i>
6	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Desmodesmus communis</i> , <i>Desmodesmus magnus</i> , <i>Cocconeis placentula</i>	<i>Cocconeis placentula</i> , <i>Aulacoseira granulata</i>
7	<i>Cocconeis placentula</i> , <i>Navicula cryptocephala</i> , <i>Desmodesmus magnus</i> , <i>Desmodesmus communis</i>	<i>Cymbella lanceolata</i> C. Agardh, <i>Cocconeis placentula</i>
8	<i>Merismopedia glauca</i> (Ehr.) Näg., <i>Oscillatoria limosa</i> Ag.	<i>Navicula viridula</i> , <i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W. Smith
9	<i>Merismopedia glauca</i> , <i>Oscillatoria limosa</i>	<i>Surirella gracilis</i> O'Meara, <i>Surirella robusta</i> v. <i>splendida</i> (Ehr.) Van Heurck
10	<i>Spirogyra</i> sp.	<i>Spirogyra</i> sp.

Отже, аналіз структурних показників альгоугруповань дозволив виділити у руслі р. Горині дискретні ділянки, які можна розглядати як руслові екотони, а саме:

— *плесо* (створ 2) — у фітопланктоні за видовим складом, чисельністю і біомасою переважали зелені водорості (відповідно 66, 56 і 60 %), ціанобактерії (17, 42 і 5 %), а також динофітові за біомасою (22 %); у мікрофітобентосі домінували зелені водорості, складаючи 50 % видового складу, 70 % чисельності і 29 % біомаси, діатомові (відповідно 38, 13 і 66 %) і ціанобактерії за чисельністю (16 %);

— *перекат* (створ 6) — у фітопланктоні за видовим складом домінували зелені і діатомові водорості — відповідно 56 і 33 %, за чисельністю — ціанобактерії і зелені (74 і 21 %), за біомасою — діатомові і зелені (60 і 36 %); у мікрофітобентосі переважали діатомові водорості, складаючи 64 % видового складу, 46 % чисельності і 87 % біомаси, зелені (відповідно 29, 42 і 12 %), а також ціанобактерії за чисельністю (12 %);

— *русло — меліорована заплава* (створ 8) — видовий склад фітопланктону формували діатомові і зелені водорості (відповідно 50 і 44 %), чисельність — зелені, діатомові і ціанобактерії (46, 38 і 16 %), біомасу — діатомові і зелені (80 і 19 %); у мікрофітобентосі за видовим складом переважали діатомові і зелені (59 і 25 %), за чисельністю — ціанобактерії (81 %), за біомасою — діатомові (89 %).

З метою розкриття механізмів формування угруповань на екотонних ділянках застосовано метод функціональної класифікації водоростей [6]. Для цього суму біомас водоростей (ідентифікованих за видовою чи родовою приналежністю) було згруповано у кодони за функціональною, біотопічною, морфологічною та екологічною різноманітністю водоростей і визначено функціональні групи фітопланктону і мікрофітобентосу.

Динаміку формування біомаси фітопланктону за участі функціональних груп водоростей за профілем річки представлено на рис. 4. Характеристику функціональних груп [6], що включає родову приналежність водоростей, біотопічну приуроченість та значення *F*-фактору, наведено у табл. 5.

Так, у фітопланктоні р. Горині провідне місце займали представники функціональних груп: *T_v* (діатомеї, приурочені до лотичних умов, з максимальними значеннями близько 40 % на перекаті), *P* (діатомові і зелені, що розвиваються в умовах евтрофного епілімніону, з максимумом до 37 % на ділянках русла, що контактують з меліоративними каналами), *J* (зелені, приурочені до мілководних евтрофних зон, з максимальною часткою на плесі — до 35 %) і *T_b* (бентосні та епіфітні діатомеї, нитчасті зелені водорості, приурочені до водотоків зі сповільненою течією і наявністю макрофітів, складаючи максимум нижче перекату — більше 40 %), на плесі структуроформуючу роль відігравали представники груп *W2* (динофітові і евгленові, приурочені до лімнофільних мезотрофних біотопів, на рівні 20—25 %) і *K* (ціанобактерії, приурочені до малих багатих біогенними речовинами водотоків — 18 %).

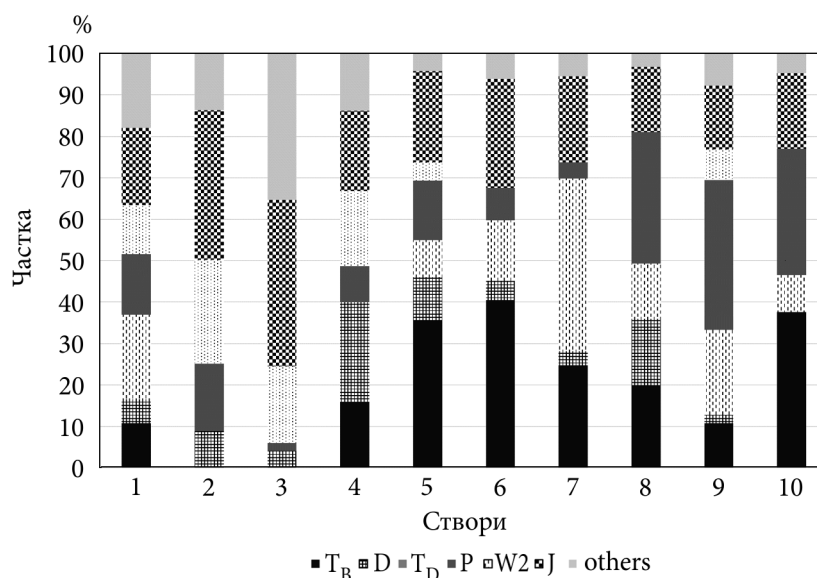


Рис. 4. Формування біомаси фітопланктону р. Горині за участі функціональних груп водоростей. Тут і на рис. 5, 8—9 — розшифровка функціональних груп — у табл. 5

Динаміку формування біомаси мікрофітобентосу за участі функціональних груп водоростей на досліджених створах річки представлено на рис. 5. У бентосних альгоугрупованнях до провідних функціональних груп відносились представники T_D (бентосні та епіфітні діатомеї, нитчасті зелені водорості, приурочені до водотоків зі сповільненою течією і наявністю макрофітів, 26—90 % з максимумом на створі 10) і T_B (діатомеї, приурочені до лотичних умов, 6—72 % з максимальними значеннями у контактній зоні русла — меліорована заплава), на руслових ділянках зі сповільненою течією співдомінували водорості групи J (зелені, приурочені до мілководних евтрофних зон, 14—26 %).

Проведено кластерний аналіз подібності альгоугруповань за участі функціональних груп водоростей у формуванні біомаси фітопланктону і мікрофітобентосу досліджених ділянок р. Горині, результати якого представлено на рис. 6.

За спектром функціональних груп водоростей фітопланктон розділився на три гетерогенні кластери з коефіцієнтом подібності 0,47: лентична ділянка — плесо та нижче нього (створи 2—4), лотичні ділянки (всі інші, крім створу 8) і ділянка русла, що підтримує водообмін з системою меліоративних каналів (створ 8). Головною ознакою лентичної ділянки є відсутність функціональної групи T_B і домінування груп J і W₂. Кластер лотичних ділянок виділився на рівні $k = 0,58$, у його межах найвища подібність була між створами 6 і 10 ($k = 0,80$) з домінуванням функціональної групи T_B на рівні 38—40 % і між створами 1 і 9 ($k = 0,70$), де присутні всі функціональні групи без вираженого домінування. Екотонна ділянка

русло — меліорована заплава (створ 8) виділилась в окремий кластер на рівні $k = 0,36$.

У мікрофітобентосі за спектром функціональних груп водоростей виділено два кластери, які розділились на рівні $k = 0,18$: руслова ділянка, що контактує з меліорованою заплавою, і нижче за течією (створи 8—10) та всі інші (створи 1—7). У першому кластері виділились створ 10 ($k = 0,24$) з переважним домінуванням групи T_D , і два інших — створи 8 і 9 ($k = 0,82$) з угрупованнями на піщаних субстратах з домінуванням функціональної групи T_B на рівні 58—82 %. У другому кластері на рівні $k = 0,50$ виділено

Таблиця 5

Функціональні групи водоростей згідно [6] у біомасі фітопланктону і мікрофітобентосу р. Горині

Кодон	F-фактор	Представники і біотопічна приуроченість
T_B	F = 5	Діатомеї, приурочені до лотичних умов (<i>Surirella</i> , <i>Nitzschia</i> , <i>Navicula</i> , <i>Gomphonema</i> , <i>Fragilaria</i> , <i>Achnanthes</i>)
D	F = 4	Діатомеї, приурочені до мілководних скаламучених біотопів (<i>Cyclotella</i> , <i>Stephanodiscus</i> , <i>Synedra</i>)
T_D	F = 3	Бентосні та епіфітні діатомеї, нитчасті зелені водорості у водотоках з повільною течією і наявністю макрофітів (<i>Cocconeis</i> , <i>Caloneis</i> , <i>Stauroneis</i> , <i>Cymatopleura</i> , <i>Amphora</i> , <i>Rhoicosphaenia</i>)
P	F = 3	Діатомові і зелені водорості, що розвиваються в умовах евтрофного епілімніону (<i>Melosira</i> , <i>Aulacoseira</i> , <i>Dictyosphaerium</i> , <i>Coelastrum</i>)
X1	F = 3	Водорості мілководних, змішаних шарів у збагачених умовах (<i>Monoraphidium</i> , <i>Ankistrodesmus</i>)
W2	F = 3	Водорості (переважно джгутикові) мілководних мезотрофних, добре перемішуваних лімнофільних біотопів (<i>Peridinium</i> , <i>Trachelomonas</i> , <i>Gymnodinium</i>)
N	F = 3	Водорості мезотрофного епілімніону (<i>Cosmarium</i>)
J	F = 2	Зелені водорості мілководних евтрофних зон (<i>Scenedesmus</i> , <i>Oocystis</i> , <i>Crucigenia</i> , <i>Didymocystis</i> , <i>Micractinium</i> та ін.)
K	F = 2	Водорості малих, багатих біогенними речовинами водотоків (<i>Rhabdoderma</i> , <i>Holopedia</i> , <i>Coelosphaerium</i> , <i>Aphanothece</i> та ін.)
T_C	F = 2	Епіфітні ціанобактерії річок з повільною течією і наявністю макрофітів (<i>Oscillatoria</i> , <i>Lyngbia</i> , <i>Phormidium</i>)
W0	F = 1	Водорості застійних зон з надзвичайно високим вмістом органічних речовин (<i>Chlamydomonas</i>)
W1	F = 1	Водорості застійних зон з вмістом органічних речовин (<i>Euglena</i> , <i>Phacus</i> , <i>Lepocinclis</i> , <i>Pandorina morum</i>)
L_M	F = 1	Види літнього епілімніону в евтрофних умовах (<i>Microcystis</i>)
H1	F = 1	Динітроген-асимілюючі види Nostocales (<i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i>)

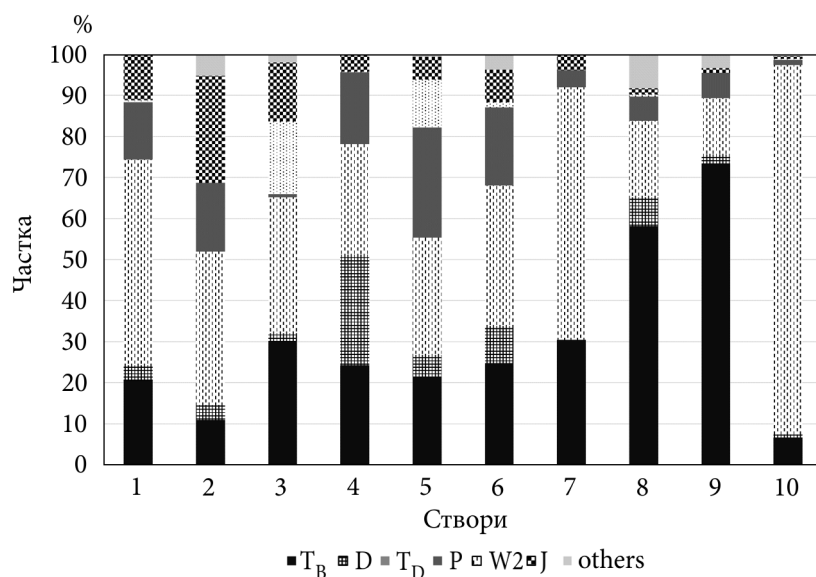


Рис. 5. Формування біомаси мікрофітобентосу р. Горині за участі функціональних груп водоростей

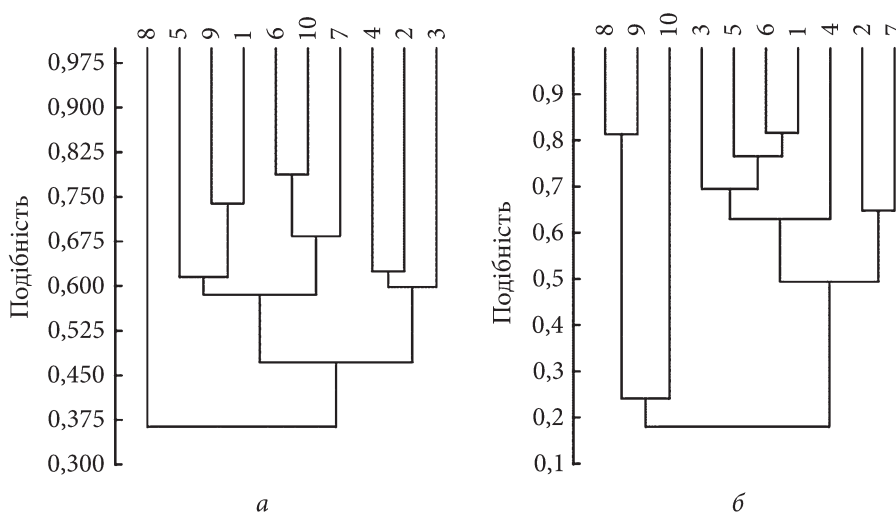


Рис. 6. Дендрограма подібності альгогрупвань за участі функціональних груп водоростей у формуванні біомаси фітопланктону (а) і мікрофітобентосу (б) р. Горині

два підкластери: альгогрупвання на піщаних замулених субстратах — створи 2 і 7 ($k = 0,64$) і на різних субстратах із заростями макрофітів — створи 1, 3—6 ($k = 0,63—0,82$) за рахунок домінування функціональної групи T_D.

Оцінка стану угруповань показала, що індекси за біомасою фітопланктону коливалися в межах 2,13—3,51 (рис. 7) з мінімальними значеннями

нижче плесової ділянки (створ 3), максимумами — на перекаці (створ 6), вище нього (створ 5) і на проточній ділянці русла (створ 10). Індeksi угруповань за біомасою мікрофітобентосу були вищими — 2,9—4,42 з мінімальними значеннями на плесі (створ 2) і максимумами на ділянках русла, що підтримують гідрологічний зв'язок з меліоративними каналами (створи 8 і 9). Отже, стан угруповань за фітопланктоном характеризувався амплітудою від «помірного» до «доброго», за мікрофітобентосом — від «помірного» до «високого».

Таким чином, застосування методу функціональної класифікації водоростей підтвердило дискретність певних ділянок русла р. Горині, встановлених традиційними альгологічними методами, та розкрило механізми їх формування в екотонах плесо, перекаці, контактна зона русло — меліорована заплава.

Так, у біомасі фітопланктону плесової ділянки, створ 2, (рис. 8, а) переважали функціональні групи J (зелені водорості мілководних евтрофних зон), W2 (динофітові і евгленові водорості мілководних лімнофільних біотопів), P (діатомові і зелені водорості, що розвиваються в умовах евтрофного епілімніону) і D (діатомеї, приурочені до мілководних скаламучених біотопів). Представники групи T_в (діатомеї, приурочені до лотичних умов) були відсутні як на створі 2, так і нижче за течією, натомість рееструвалися вище плеса на створі 1 та відновлювалися на створі 4. На плесовій ділянці також були присутні представники груп K (ціанобактерії малих багатих біогенними речовинами водотоків) та W0 (водорості застійних зон з надзвичайно високим вмістом органічних речовин, такі, як *Chlamydomonas* sp.) і отримували розвиток нижче за течією на створі 3. Для біомаси мікрофітобентосу (рис. 9, а) були характерні функціональні групи T_д (бентосні і епіфітні діатомеї та нитчасті зелені водорості водотоків зі сповільненою течією і наявністю макрофітів), а також J, P і T_в.



Рис. 7. Індeksi угруповань фітопланктону (I) і мікрофітобентосу (II) р. Горині

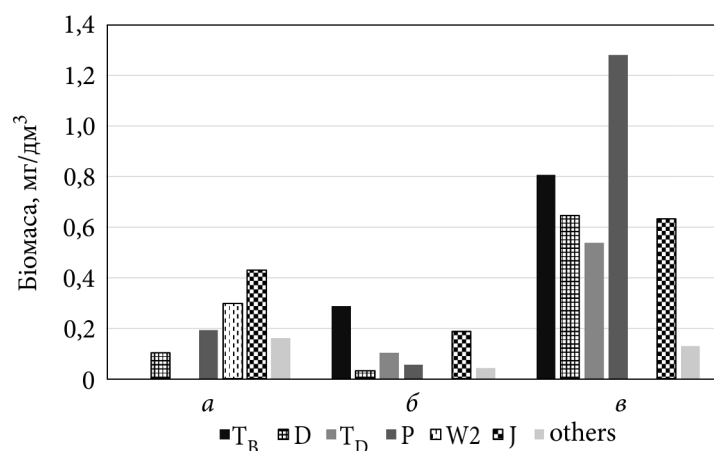


Рис. 8. Участь функціональних груп водоростей у формуванні біомаси фітопланктону на плесі (а), на перекаті (б), у контактній зоні русло — меліорована заплава (в) р. Горині

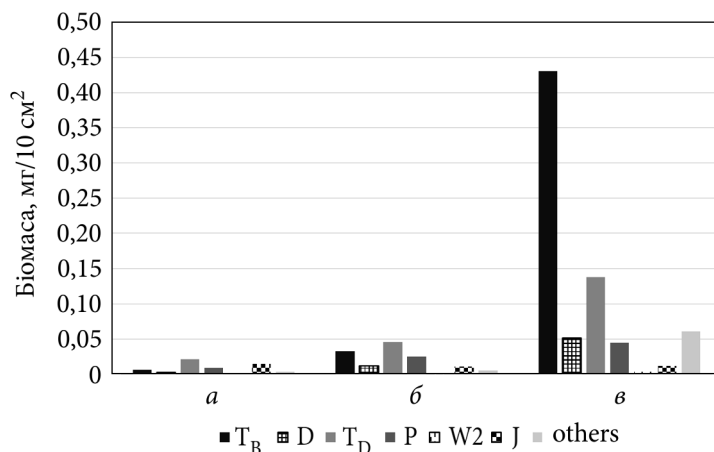


Рис. 9. Участь функціональних груп водоростей у формуванні біомаси мікрофітобентосу на плесі (а), на перекаті (б), у контактній зоні русло — меліорована заплава (в) р. Горині

Біомасу фітопланктону на перекаті (створ б, див. рис. 8, б) формували функціональні групи T_B (діатомеї, приурочені до лотичних умов), J (зелені водорості мілководних евтрофних зон) і T_D (бентосні і епіфітні діатомеї та нитчасті зелені водорості водотоків зі сповільненою течією і наявністю макрофітів). Нижче перекату роль діатомей групи T_B, типових для лотичних систем, знижувалася в умовах сповільнення течії, а роль бентосних і епіфітних групи T_D збільшувалась. У біомасі мікрофітобентосу перекату переважали діатомові водорості функціональних груп T_D і T_B, а також представники груп P (діатомові і зелені водорості, що розвиваю-

ться в умовах евтрофного епілімніону) і D (діатомеї мілководних скаламучених біотопів), які відігравали більшу роль, ніж у фітопланктоні (див. рис. 9, б). Нижче перекату роль бентосних і епіфітних діатомових водоростей групи T_D як і у фітопланктоні збільшувалась.

В екотоні *русло* — *меліорована заплава* біомасу фітопланктону формували функціональні групи: P (діатомові і зелені водорості, що розвиваються в умовах евтрофного епілімніону), T_B (діатомеї, приурочені до лотичних умов), D (діатомеї мілководних скаламучених біотопів), J (зелені водорості мілководних евтрофних зон) і T_D (бентосні та епіфітні діатомеї і нитчасті зелені водорості водотоків з повільною течією і наявністю макрофітів (див. рис. 8, в). Нижче екотонної ділянки позиція діатомових водоростей функціональної групи T_B знижувалася, роль зелених водоростей групи J зростала. У біомасі мікрофітобентосу лідирували представники групи T_B, а також водорості функціональних груп T_D, D і P, як і у фітопланктоні (див. рис. 9, в).

Висновки

У результаті досліджень фітопланктону і мікрофітобентосу 180 км ділянки р. Горині, русло якої характеризується високим ступенем меандрування і рукавів, що створює розмаїття біотопів та динамічну зміну умов формування стоку за профілем водотоку, зареєстровано 149 видів водоростей, представлених 157 внутрішньовидовими таксонами із восьми систематичних відділів. Видову структуру фітопланктону формували 92 види (100 ввт) з переважанням частки зелених водоростей (43 %), діатомових (39 %) і ціанобактерій (10 %), мікрофітобентос налічував 105 (112 ввт) з домінуванням діатомових (58 %) і зелених (22 %).

Кількісні показники фітопланктону коливалися в межах 4560—10 180 тис. кл/дм³ і 0,59—4,04 мг/дм³, мікрофітобентосу — 19,5—1640,5 тис. кл/10 см² і 0,04—1,39 мг/10 см². Максимальні зареєстровані на створі 8 (на русловій ділянці, що підтримує водообмін з системою меліоративних каналів), за винятком біомаси мікрофітобентосу, яка стрімко продовжувала зростати і досягала максимуму на створі 10, переважно за рахунок аллогенних форм. Фітопланктон характеризувався динамічним розвитком, інші піки чисельності були приурочені до створів 2 і 6, піки біомаси були відмічені на створах 1 і 5. Мікрофітобентос мав більш стабільний характер формування кількісних показників.

Аналіз структури альгоугруповань за профілем річки виявив ознаки дискретності видового складу, їх чисельності і біомаси та домінуючих комплексів, відображаючи біотопічну мінливість, що дозволило нам виділити окремі ділянки в руслі р. Горині. Застосування методу функціональної класифікації водоростей підтвердило дискретний характер просторової динаміки альгоугруповань та допомогло розкрити особливості і механізми їх формування в екотонах: *плесо*, *перекат*, *контактна зона русло* — *меліорована заплава*.

Встановлено, що біомасу фітопланктону на *плесовій ділянці* (яка характеризується розширенням русла із заводами та зниженням течії до

0,2 м/с) формували представники зелених водоростей, приурочені до мілководних евтрофних зон (функціональна група J), динофітові і евгленові водорості мілководних лімnofільних біотопів (група W2), діатомові і зелені водорості, що розвиваються в умовах евтрофного епілімніону (група P) і діатомеї, приурочені до мілководних скаламучених біотопів (група D). Присутність ціанобактерій групи K і водоростей застійних зон групи W0 та відсутність діатомеї групи T_B, приурочених до лотичних умов, — головна ознака плесової ділянки. Для біомаси мікрофітобентосу на плесі були характерні бентосні та епіфітні діатомеї та нитчасті зелені водорості водотоків зі сповільненою течією і наявністю макрофітів (групи T_D), а також зелені водорості, що розвивалися на мілководних зонах (група J), представники евтрофного епілімніону (група P) і діатомеї, приурочені до лотичних умов (група T_B).

На *перекаті* (з глибиною русла 0,4—0,7 м та пришвидшеною до 1,0 м/с течією) біомасу фітопланктону формували функціональні групи T_B, J і T_D, нижче перекату в умовах сповільнення течії роль діатомеї групи T_B знижувалася, а роль бентосних і епіфітних групи T_D зростала. У біомасі мікрофітобентосу переважали діатомові водорості функціональних груп T_D і T_B, а також груп P і D, які відігравали більшу роль, ніж у фітопланктоні. Нижче перекату роль бентосних і епіфітних діатомових водоростей групи T_D як і у фітопланктоні збільшувалась.

В екотоні *русло — меліорована заплава* біомасу фітопланктону формували функціональні групи: P, T_B, J і T_D, нижче екотонної ділянки роль діатомових водоростей групи T_B знижувалася, а зелених групи J зростала. У біомасі мікрофітобентосу переважали представники групи T_B, а також функціональних груп T_D, D і P, як і у фітопланктоні.

Оцінка стану угруповань показала, що індекси угруповань з урахуванням F-фактору (від 0 до 5) за біомасою фітопланктону коливалися в межах 2,13—3,51 — від «помірного» до «хорошого», мікрофітобентосу — 2,9—4,42 — від «помірного» до «високого». Найнижчі індекси за фітопланктоном зареєстровані нижче плеса, найвищі — на перекаті, за мікрофітобентосом найнижчі індекси були на плесі, найвищі — на ділянці русла, що підтримує водообмін з системою меліоративних каналів.

Таким чином, можна припустити, що ділянки річки *плесо* і *перекат* відносяться до руслових екотонів топічного рівня, а контактну зону *русло — меліорована заплава* допустимо розглядати як екотон біоценотичного рівня.

Список використаної літератури

1. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. За ред. В.Д. Романенка. Київ : Логос, 2006. 408 с.
2. Серета Т.Н. Особенности формирования фитопланктона Верхнего Днестра. Материалы Междунар. конф. «Евроинтеграция и управление бассейном Днестра» (Кишинев, 8—9 окт. 2020 г.). Кишинев, 2020. С. 277—281.
3. Серета Т.М., Мантурова О.В. Біорізноманіття фітопланктону і мікрофітобентосу гірської ділянки р. Дністер та його приток. *Екологічна наукова діяльність: в кон-* ISSN 0375-8990. Гідробіологічний журнал. 2023. 59(5)

цепції сталого розвитку. Зб. статей наук.-прак. конф. з міжнарод. участю, м. Житомир, 4 груд. 2018 р. Житомир, 2018. С. 290—296.

4. Серета Т.М., Усов О.Є., Жежеря В.А. та ін. Оцінка процесів евтрофікації водних об'єктів річки Стрижень. *Біоресурси та природокористування*. 2018. Т. 10, № 5—6. С. 16—23.

5. Afanasyev S., Lietytska O., Manturova O. Altitude distribution and structural organization of hydrobionts' communities in the rivers of the mountainous part of the Tisa River basin. *Hydrobiol. J.* 2013. Vol. 49, N 4. P. 16—25.

6. Borics G., Vórbny G., Grigorszky I. et al. A new evaluation technique of potamoplankton for the assessment of the ecological status of rivers. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 2007. Vol. 161, N 3—4. P. 465—486.

7. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2023. <http://www.algaebase.org> (last accessed: 07.03.2023)

8. Hammer III., Harper D.A.T. and Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001. Vol. 4, N 1. 9 p.

9. Kharchenko T.A. Structural and functional parameters of macrozoobenthos of water ecotons and indicators of the ecotone boundaries. *Hydrobiol. J.* 1998. Vol. 34, N 2—3. P. 111—119.

10. Lyashenko A.V., Zorina-Sakharova K.Ye., Guleykova L.V., Pogoryelova M.S. Peculiarities of the structural and functional characteristics of contact hydrobiocenoses. *Ibid. J.* 2020. Vol. 56, N 1. P. 3—23.

11. Sereda T.N. Phytopotamoplankton of river systems: retrospective review of investigations, search for methodic approaches. *Ibid.* 2016. Vol. 52, N 6. P. 33—42.

12. Transboundary Dniester River basin: ecological state, reference conditions, management. Ed. by S. Afanasyev, O. Manturova. Kyiv: Vaite, 2021. 384 pp.

13. Vannote R. L., Minshall K. W., Cummins J. R. et al. The river continuum concept. *Canad. J. Fish Aquat. Sci.* 1980. Vol. 37. P. 130—137.

Надійшла 7.06.2023

T.M. Sereda, PhD, Senior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: seredatm@ukr.net

O.V. Manturova, PhD, Senior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avnue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: omanturova@ukr.net

O.Ye Usov, PhD, Senior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: alex_lake2007@ukr.net

PATTERNS OF PHYTOPLANKTON AND MICROPHYTOBENTHOS
DEVELOPMENT IN CHANNEL ECOTONES IN THE GORYN RIVER

Studies of phytoplankton and microphytobenthos of the Goryn' River showed discrete-continual character of these communities' development, which reflects occurrence of ecotones in the channel-flood land system of the river. In ecotones, upstream and downstream, the species composition, dominant complexes and quantitative parameters changed, owing to specific features and hydrological conditions of the flow forming. The algal functional groups diagnostic technique was tested to assess state of the algal communities and revelation of their development specificity in the Goryn River, which enabled to reveal mechanisms of the algal communities' modifications in terms of the functional groups within the ecotones: pool, riffle, contact zone of the river channel and ameliorated flood land.

Key words: *phytoplankton, microphytobenthos, Goryn River, method of algal functional classification, assessment of communities' state, ecotones.*